

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

JST-118-PCT
reference ③

(11)Publication number : 2001-185487

(43)Date of publication of application : 06.07.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/203
C30B 29/38
// H01L 33/00

(21)Application number : 11-366723

(71)Applicant : ULVAC JAPAN LTD
NATL INST OF ADVANCED
INDUSTRIAL SCIENCE &
TECHNOLOGY METI

(22)Date of filing : 24.12.1999

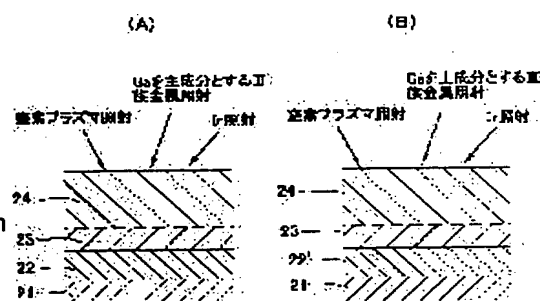
(72)Inventor : SHIMIZU SABURO
SONODA SAKI
OKUMURA HAJIME
CHIN KYOKUKYO
SHIMIZU MITSUTOSHI

(54) METHOD FOR FORMING THIN FILM OF GROUP III NITRIDE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a thin film that has better optical and electrical characteristics by controlling the polarity of a GaN-based group III nitride growing on C surface of a sapphire substrate to the (0001) plane.

SOLUTION: When a GaN-based thin film is grown epitaxially on a substrate by molecular beam epitaxy using a nitrogen plasma and a metal having Ga as the main constituent, metal In is projected at initial stage of growth or during growth so as to grow a GaN-based thin film desired, or a thin film desired is grown after metal Ga or metal Al is deposited for one or several atomic layers on the substrate, or a thin film desired is grown on the substrate after AlN layer is grown using nitrogen plasma, or a thin film desired is grown on the substrate using a metal having Ga as the main constituted, ammonia or nitrogen plasma after espousing ammonia to form AlN layer on the substrate.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-185487
(P2001-185487A)

(43) 公開日 平成13年7月6日 (2001.7.6)

(51) Int.Cl. ¹	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 1 L 21/203		H 0 1 L 21/203	M 4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	D 5 F 0 4 1
// H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 1 0 3

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-366723

(22) 出願日 平成11年12月24日 (1999. 12. 24)

(71) 出願人 000231464

日本真空技術株式会社

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(74) 上記1名の代理人 100060025

弁理士 北村 欣一 (外2名)

(71) 出願人 301000011

経済産業省産業技術総合研究所長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(74) 上記1名の復代理人 100060025

弁理士 北村 欣一 (外2名)

(72) 発明者 清水 三郎

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本真空
技術株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物薄膜の形成方法

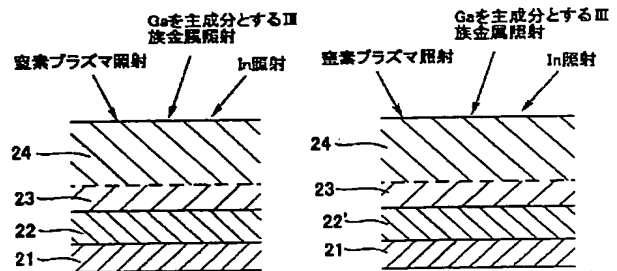
(57) 【要約】

【課題】 サファイアC面基板上に成長するGa N系III族窒化物薄膜の極性を(0001)に制御することにより、従来よりも光学的、電気的特性に優れた薄膜を提供すること。

【解決手段】 基板上に、窒素プラズマおよびGaを主成分とする金属を用いて分子線エビタキシーによりGa N系薄膜をエビタキシャル成長させるに際し、該薄膜の成長初期もしくは成長中に金属Inを照射して所望のGa N系薄膜を成長させること、または金属Gaもしくは金属Alを該基板上に1~数原子層堆積させた後、所望の薄膜を成長させること、または該基板上に窒素プラズマを用いてAl N層を成長させた後に所望の薄膜を成長させること、または該基板上にアンモニアを照射して基板上にAl N層を形成させた後、Gaを主成分とする金属およびアンモニアもしくは窒素プラズマを用いて所望の薄膜を成長させること。

(A)

(B)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 サファイアC面基板上に、窒素源として窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を用いて分子線エビタキシーによりGaN系III族窒化物薄膜をエビタキシャル成長させるに際し、該GaN系III族窒化物薄膜の成長初期あるいは成長中に金属Inを照射することにより、成長する膜の極性を(0001)に制御することを特徴とするIII族窒化物薄膜の形成方法。

【請求項2】 サファイアC面基板上に、窒素源として窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を用いて分子線エビタキシーによりGaN系III族窒化物薄膜をエビタキシャル成長させるに際し、該サファイアC面基板上に金属Gaあるいは金属Alを1～数原子層堆積させた後、窒素プラズマおよびGaを主成分とする金属を照射してGaN系III族窒化物薄膜を成長させ、成長する膜の極性を(0001)に制御することを特徴とするIII族窒化物薄膜の形成方法。

【請求項3】 サファイアC面基板上に、窒素源として窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を用いて分子線エビタキシーによりGaN系III族窒化物薄膜をエビタキシャル成長させるに際し、該サファイアC面基板上に窒素プラズマを窒素源とし、金属AlをAl源として用いてAlN層を成長させた後、窒素プラズマおよびGaを主成分とする金属を照射してGaN系III族窒化物薄膜を成長させ、成長する膜の極性を(0001)に制御することを特徴とするIII族窒化物薄膜の形成方法。

【請求項4】 サファイアC面基板上に、窒素源およびIII族源としてのGaを主成分とする金属を用いて分子線エビタキシーによりGaN系III族窒化物薄膜をエビタキシャル成長させるに際し、該サファイアC面基板上に窒素源としてアンモニアを照射してAlN層を形成させた後、窒素源としてアンモニアあるいは窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を照射してGaN系III族窒化物薄膜を成長させ、成長する膜の極性を(0001)に制御することを特徴とするIII族窒化物薄膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、III族窒化物薄膜の形成方法、特に分子線エビタキシー(MBE)によるIII族窒化物薄膜(極性:(0001))の形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】六方晶であるサファイアC面基板上にGaNを成長させる場合、通常、六方晶のウルツ鉱型GaNがサファイア基板とc軸を描えて成長する。しかし、ウルツ鉱型GaNはc軸方向に極性をもつため、通常は、図1(A)および(B)に示すように、2種類の極性、

すなわち2種類の原子の配列状態をもつ結晶の混在した膜となってしまう。このようにサファイアC面基板1上に成長するGaN膜において、図1(A)に示すようにGa原子の直上にN原子が配列された場合をGaN(0001)(Ga-face)、図1(B)に示すようにN原子の直上にGa原子が配列された場合をGaN(000-1)(N-face)と呼んでいる。これらの2種類の極性と成長した膜の特性とは密接に関係しており、GaN(0001)膜の方が、GaN(000-1)膜、あるいはGaN(0001)とGaN(000-1)との混在した膜よりも、光学的、電気的特性、さらには表面平坦性に優れているということが報告されている(Keller et al., Appl. Phys. Lett. 68(1996)1525, Fuke et al., J. Appl. Phys. 83(1998)764)。したがって、いかに成長する膜の極性をGa-faceに制御するかということが高品質III族窒化物半導体素子を作製するうえでの重要なキーポイントとなっている。

【0003】有機金属気相成長法(MOCVD法)においては、有機金属ガスの供給時期、核密度増大のためにサファイア基板上に成長させる低温バッファ層のアニール条件等を制御することにより、成長する膜の極性をGa-faceに制御することが既に可能となっている。これに対し、分子線エビタキシー(MBE)法においては、これまでGaN(000-1)が支配的な膜しか得られておらず、GaN(0001)膜を得ることは不可能であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】この発明は、上記のような従来のMBE法におけるGaN系III族窒化物薄膜形成の際の問題点を解決するものであり、成長する膜の極性を(0001)に制御して、従来よりも光学的、電気的特性に優れたGaN系III族窒化物薄膜を形成する方法を提供することを課題としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記従来技術の問題点を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、次のような手段を用いることにより、成長する膜の極性を(0001)に制御することに成功し、本発明を完成するに至った。

40

【0006】(1)サファイアC面基板上に、窒素プラズマを窒素源とし、金属GaをGa源として、MBE法によりGaN単結晶薄膜をエビタキシャル成長させるには、まず基板を約800℃で加熱して清浄化する。次いで、約200オングストローム程度のGaN層を約500℃の低温で堆積させた後にアニールすることによって、GaNの核形成を促進させる低温バッファ層を形成する。このようにして形成された低温バッファ層上に、成長温度600℃～800℃でGaN層を成長させるという方法が通常用いられている。また、さらに核密度を増大させることを目的として低温バッファ層形成前に、

50

窒素プラズマをサファイア基板に照射してサファイア基板を窒化し、Ga₂Nと格子定数の近いAlN層を基板表面に形成させる方法が採用されることもある。以上のような方法でGa₂Nを成長させた場合には、得られたGa₂N膜はGa₂N(0001)とGa₂N(000-1)との混在した膜となってしまう。また、サファイア基板の窒化プロセスを導入した場合には、Ga₂N(000-1)の混在率が增大するのみで、Ga₂N(0001)のみの膜を得ることはできなかった。しかし、本発明者らは、低温バッファ層形成後、成長温度600℃～800℃でGa₂N膜を成長させる際に、窒素プラズマ、金属Gaを主成分とする金属とともに金属Inを同時に成長表面に照射すると、Inが成長膜中に取り込まれることもなく、成長膜の極性が(0001)になることを見出した。この発明は、このことを利用して、成長するGa₂N系III族窒化物薄膜の極性を(0001)に制御し、目的とするGa₂N系III族窒化物を得ようとするものである。

【0007】(2)上記(1)で述べたように、低温バッファ層形成前に、窒素プラズマをサファイア基板に照射してサファイア基板を窒化し、Ga₂Nと格子定数の近いAlN層を形成させた場合には、Ga₂N(000-1)の混在率が增大してしまうことがわかった。これは、サファイア基板が窒素プラズマに曝された場合には、基板表面にAlN(000-1)の層が形成されるため、このAlN層上に成長したGa₂N膜は(000-1)の混在率が高い膜となってしまうからである。この発明は、基板清浄化処理後、低温バッファ層形成時に基板が窒素プラズマに曝されるのを抑制する目的で、プラズマ照射前に、基板上に金属Gaあるいは金属Alを1～数原子層を形成せしめ、その後窒素プラズマおよび金属Gaを主成分とする金属を照射して膜を成長させ、成長するGa₂N系III族窒化物薄膜の極性を(0001)に制御し、目的とするGa₂N系III族窒化物を得ようとするものである。

【0008】(3)上記(1)で述べたように、従来、基板清浄化後に約200オングストローム程度のGa₂N層を約500℃の低温で堆積させ、アニールすることによって、Ga₂Nの核形成を促進させる低温バッファ層を形成する場合もある。本発明者らは、この低温バッファ層の替わりに、650℃～800℃の高温で窒素プラズマと金属Alを用いてAlNバッファ層を成長させた場合には、成長させたAlN層の極性は(0001)であることを見出した。この発明は、以上のことを利用し、基板の清浄化処理後、650℃～800℃の高温で基板上に窒素プラズマと金属Alとを用いてAlNバッファ層を成長させ、その後、成長温度600℃～800℃で膜を成長させて、得られるGa₂N系III族窒化物薄膜の極性を(0001)に制御し、目的とするGa₂N系III族窒化物を得ようとするものである。

【0009】(4)上記(1)で述べたように、従来、低温バッファ層形成前にサファイア基板を窒化し、Ga₂Nと格子定数の近いAlN層を基板表面に形成させ、さらに核密度を増大させる方法が採用されることもある。本発明者らは、このサファイア基板の窒化プロセスにおいて、窒素源をアンモニアとし、このアンモニアをサファイア基板に800℃～950℃で照射した場合には、基板表面に形成されるAlN層の極性は(0001)であることを見出した。この発明は、以上のことを利用し、基板の清浄化処理後、800℃～950℃の高温でアンモニアを照射してAlN層を形成し、次いで、窒素源としてアンモニアあるいは窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を照射して成長温度600℃～800℃で膜を成長させ、得られるGa₂N系III族窒化物薄膜の極性を(0001)に制御し、目的とするGa₂N系III族窒化物を得ようとするものである。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を説明する。

【0011】この発明の第1の実施の形態によれば、通常の分子線エビタキシャル装置を用い、通常の真空下で原料物質を蒸発させ、このガス状物質を600～800℃に加熱したサファイアC面基板上に供給し、薄膜結晶を成長させて、目的とするGa₂N系III族窒化物薄膜を形成する。成長温度600℃～800℃において、窒素源として窒素プラズマを、またIII族源としてGaを主成分とする金属を基板に照射してGa₂N系III族窒化物薄膜を成長させる際に、窒素源およびIII族源の照射と同時に成長初期の間だけ金属Inを照射する。これにより、極性が(0001)に制御された、光学的、電気的特性に優れた薄膜を得ることができる。このようにして形成された薄膜を有する基板の一つの例を図2(A)および(B)に示す。図2(A)および(B)に示したように、サファイア基板21上に、Ga₂N系(0001)膜、あるいはGa₂N系(000-1)膜、あるいは(0001)と(000-1)との混在した膜22、22'が下地として設けられ、その上にIn照射中に形成されるGa₂N系III族窒化物薄膜(In照射層)23が形成され、さらにその上にGa₂N系III族窒化物薄膜24が形成される。ここで、Ga₂N系III族窒化物薄膜24は、Gaの他、III族金属元素としてIn、Al等を含んでも良いし、また、ドーパントとしてBe、Mg、Siなどを含んでも良い。この実施の形態においては：

1. 成長させるIII族窒化物薄膜の下地としては、Ga₂N系(0001)膜、あるいはGa₂N系(000-1)膜、あるいは(0001)と(000-1)との混在した膜であればいずれの膜でも使用できる。例えば、サファイアC面基板21を加熱して(例えば、約800℃)清浄化した後、所定の厚さのGa₂N層を低温(例えば、

約500℃)で堆積せしめ、次いでアニール処理することにより形成された低温バッファ層22でも(図2(A))、あるいは他の成長法(例えば、スパッタ、レーザーデポジションなど)で成長させた膜22'でも(図2(B))、上記結晶方位を有するものであれば使用できる。この低温バッファ層はGaNの核形成を促進させる。

【0012】2. 窒素プラズマは、RFで生成されるものでもECRで生成されるものでも良い。

【0013】3. III族金属(Ga)としては、その強度(フラックス)が 1×10^{13} コ/cm²s $\sim 1 \times 10^{15}$ コ/cm²sであるものを用いる。強度が 1×10^{13} コ/cm²s未満であると実用的な成長速度(0.1μm/hr)が得られず、また、 1×10^{15} コ/cm²sを超えると結晶性が劣化するからである。

【0014】4. 金属Inとしては、照射するIII族金属(Ga)の強度の2桁低い強度から1桁高い強度までの範囲内のものを用いることが好ましい。これは、この強度の範囲外では効果がないからである。

【0015】5. 金属Inは、III族窒化物薄膜の成長初期にのみ照射しても、または成長中照射し続けても良い。

【0016】この発明の第2の実施の形態によれば、第1の実施の形態において述べたようなサファイアC面基板清浄化処理後、基板上に金属Gaあるいは金属Alを1～数原子層形成せしめ、その後窒素源として窒素プラズマ、およびIII族源としてGaを主成分とする金属を照射してGaN系低温バッファ層を形成し、次いでこのバッファ層上に所望のGaN系(0001)薄膜を成長させる。このようにして形成された薄膜を有する基板の一つの例を図3に示す。図3に示したように、サファイア基板31上に金属Gaあるいは金属Alの原子層32が形成され、この原子層上にGaN系低温バッファ層33が形成され、その上に所望のGaN系III族窒化物薄膜34が形成される。ここで、GaN系III族窒化物薄膜34は、Gaの他、III族金属元素としてIn、Al等を含んでも良いし、また、ドーパントとしてBe、Mg、Siなどを含んでも良い。この実施の形態においては：

1. 金属Gaあるいは金属Alの照射温度は、室温～600℃であれば良い。

【0017】この発明の第3の実施の形態によれば、第1の実施の形態において述べたようなサファイアC面基板清浄化処理後、基板上に、成長温度650℃～800℃で窒素プラズマおよび金属Alを照射してAlN(0001)膜を成長させ、次いでAlN(0001)膜上に所望のGaN系(0001)薄膜を成長させる。このようにして形成された薄膜を有する基板の一つの例を図4に示す。図4に示したように、サファイア基板41上にAlN(0001)膜42が形成され、その上に所望

のGaN系III族窒化物薄膜43が形成される。ここで、GaN系III族窒化物薄膜43は、Gaの他、III族金属元素としてIn、Al等を含んでも良いし、また、ドーパントとしてBe、Mg、Siなどを含んでも良い。この実施の形態においては：

1. 窒素プラズマは、RFで生成されるものでもECRで生成されるものでも良い。

【0018】2. 金属Alとしては、その強度が 1×10^{13} コ/cm²s $\sim 1 \times 10^{15}$ コ/cm²sであるものを用いる。

【0019】3. AlN膜の膜厚はどの程度であっても良い。

【0020】4. AlN膜上に成長させるGaN系III族窒化物薄膜は、スパッタ、CVD、レーザーデポジションなどの、どの成長法を用いて成長させても良い。

【0021】この発明の第4の実施の形態によれば、第1の実施の形態において述べたようなサファイアC面基板清浄化処理後、基板上に800℃～900℃でアンモニアを照射してAlN(0001)の層を形成させ、次いで所望のGaN系(0001)層を成長させる。このようにして形成された薄膜を有する基板の一つの例を図5に示す。図5に示したように、サファイア基板51上にAlN(0001)層52が形成され、その上に所望のGaN系III族窒化物薄膜53が形成される。ここで、GaN系III族窒化物薄膜53は、Gaの他、III族金属元素としてIn、Al等を含んでも良いし、また、ドーパントとしてBe、Mg、Siなどを含んでも良い。この実施の形態においては：

1. アンモニアは熱分解してあっても、してなくても良い。

【0022】2. アンモニアの流量としては、その下限はAlN(0001)層が形成される程度の量であれば良く、また、上限には特に制限はなく、経済的観点から適宜選択すれば良い。また、アンモニアの照射時間は、5分～2時間であればどの程度でも良い。

【0023】3. AlN(0001)層上に成長させるGaN系(0001)薄膜は、スパッタ、CVD、レーザーデポジションなどの、どの成長法を用いて成長させても良い。

【0024】

【実施例】以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

(実施例1) 通常の分子線エビタキシャル装置を用い、図2(A)および(B)に示したようなGaN系薄膜を以下のようにして形成した。

【0025】まず、サファイアC面基板21を800℃に加熱して清浄化処理し、この基板上に、窒素プラズマとGaを主成分とする金属を照射して所定の厚さのGaN層を約500℃で堆積せしめ、次いで約600℃でアニール処理して、低温バッファ層(極性：(0001))と

(000-1)との混在)22を形成せしめた。その後、約 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ Paの真空中で、III族源としてのGaを主成分とする金属原料物質(強度: 2×10^{11} コ/cm²s)を蒸発させ、このガス状物質を、RFで生成された窒素プラズマと共に、800℃に加熱したサファイアC面基板上に供給し、照射した。結晶成長温度730℃でGaN系薄膜を成長させる際に、上記ガス状物質と窒素プラズマの照射と同時にガス状の金属In(強度: 7×10^{11} コ/cm²s)を結晶成長初期にだけ照射した。このようにして低温バッファ層22上に薄膜結晶を成長させて、目的とするGaN系薄膜を形成した

(図2(A))。この場合、結晶成長初期の金属In照射中に形成されたGaN系薄膜23には、金属Inは取り込まれておらず、また、その極性は(0001)であった。金属In照射をやめた後に成長したGaN系薄膜24の極性も(0001)であった。

【0026】下地としての低温バッファ層22に代えてスパッタ法により成長せしめた膜(極性:(0001)と(000-1)との混在)22'を使用して上記方法を繰り返したところ、得られたGaN系薄膜の極性も上記の場合と同様に(0001)であった(図2(B))。また、下地として、GaN系(0001)膜、あるいはGaN系(000-1)膜、あるいは(0001)と(000-1)との混在した膜を形成せしめ、これを用いて上記方法を繰り返したところ、下地の極性に与えられることなく、得られたGaN系薄膜の極性は全て(0001)であった。これは、金属Inを照射することにより、下地の極性に関わりなく所望の極性のGaN系薄膜が得られることを意味する。

【0027】なお、窒素プラズマとして、RFで生成したものに代えてECRで生成したものを用いても同様な結果が得られる。また、金属Inを結晶成長中照射し続けた場合も、上記と同様に金属InがGaN系薄膜中に取り込まれることもなく、得られた薄膜の極性は所望のものである。

【0028】上記のようにして得られたGaN系(0001)薄膜は、光学的、電気的特性に優れている。

(実施例2)本実施例では、清浄化されたサファイアC面基板上への低温バッファ層形成時に、基板が窒素プラズマに曝されるのを抑制することによって、図3に示すようにサファイア基板31上にGaN系薄膜34を形成した。

【0029】実施例1と同様にサファイアC面基板清浄化処理後、基板31上に500℃で金属Gaあるいは金属Alを照射し、GaあるいはAlの数原子層32を形成した。この層を下地として、この上に、実施例1の場合と同じ条件で、窒素プラズマおよびIII族源としてのGaを主成分とする金属を照射してGaN系低温バッファ層(極性:(0001)と(000-1)との混在)33を形成せしめ、その上にGaN系薄膜34を600℃

で成長させた(図3)。得られた薄膜の極性は(0001)であった。

(実施例3)実施例1と同様にサファイアC面基板清浄化処理後、図4に示すように、基板41上に、結晶成長温度750℃で窒素プラズマおよび金属Alを照射してAlN膜42を成長せしめた。このAlN膜の極性は(0001)であった。次いで、得られたAlN(0001)膜上に、実施例1の場合と同じ条件で、窒素プラズマおよびIII族源としてのGaを主成分とする金属を照射してGaN系薄膜43を成長させた。得られた薄膜の極性は(0001)であった。

【0030】なお、窒素プラズマとして、RFで生成したものに代えてECRで生成したものを用いても同様な結果が得られる。また、バッファ層としてのAlN膜の膜厚は、特に制限されるものではない。AlN膜上に成長させるGaN系III族窒化物薄膜の成長法としては、特に制限されるものではなく、例えばスパッタ法、CVD、レーザーデポジションなどにより成長させれば、上記と同じ結果が得られる。

(実施例4)実施例1と同様にサファイアC面基板清浄化処理後、図5に示すように、基板51上に900℃でアンモニアを照射して基板表面にAlNの層52を形成させた。得られたAlN層の極性は(0001)であった。次いで、実施例1の場合と同じ条件で、窒素プラズマおよびIII族源としてのGaを主成分とする金属を照射してGaN系薄膜53を成長させた。得られた薄膜の極性は(0001)であった。

【0031】窒素源として用いるアンモニアは熱分解しても、してなくても、同じ結果が得られた。また、アンモニアの流量には特に制限はなく、その下限は基板表面にAlN層が形成され得るような量であれば充分であり、過剰であっても同じような結果が得られる。また、照射時間は、5分~2時間であればどの程度でも同じような結果が得られる。

【0032】また、AlN(0001)層上に成長させるGaN系薄膜の成長法としては、特に制限されるものではなく、例えばスパッタ法、CVD、レーザーデポジションなどにより成長させれば、上記と同じ結果が得られる。

【0033】以上のようにして、この発明で形成されたGaN系薄膜は、所望のタイプの電子デバイスあるいは光電子デバイスなどに組み込まれて利用できる。

【0034】

【発明の効果】この発明によれば、従来のMBE法においては不可能であったGaN系III族窒化物薄膜の極性を光学的、電気的特性に優れた(0001)に制御することが可能となるため、高品質なIII族窒化物半導体素子を製造することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)基板上に形成されたGaN系膜の極性

(0001)を説明するための原子配列状態を示す模型図。

(B)基板上に形成されたGaN系膜の極性(000-1)を説明するための原子配列状態を示す模型図。

【図2】(A)この発明の実施例1により得られたGaN系薄膜を有する基板の断面図。

(B)この発明の実施例1により得られたGaN系薄膜を有する基板の断面図。

【図3】この発明の実施例2により得られたGaN系薄膜を有する基板の断面図。

【図4】この発明の実施例3により得られたGaN系薄膜を有する基板の断面図。

【図5】この発明の実施例4により得られたGaN系薄膜を有する基板の断面図。

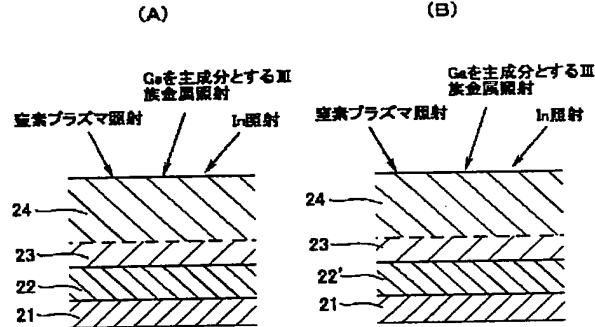
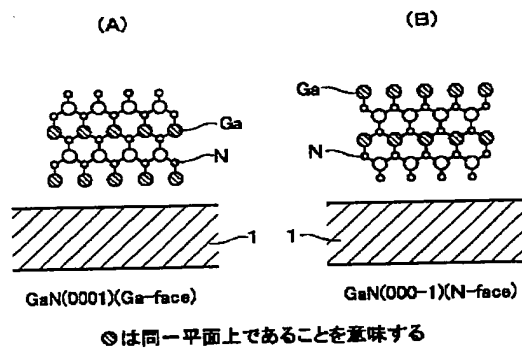
*【符号の説明】

- 1 サファイアC面基板
- 21、31、41、51 サファイアC面基板
- 22、22' 下地
- 23 In照射層
- 24 GaN系薄膜
- 32 金属Gaあるいは金属Alの原子層
- 33 GaN系低温バッファ層
- 34 GaN系薄膜
- 42 AlN膜
- 43 GaN系薄膜
- 52 AlN層
- 53 GaN系薄膜

*

【図1】

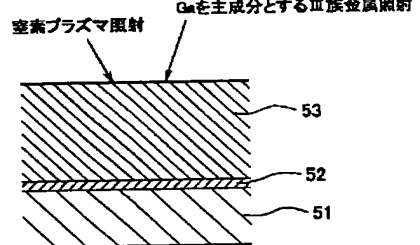
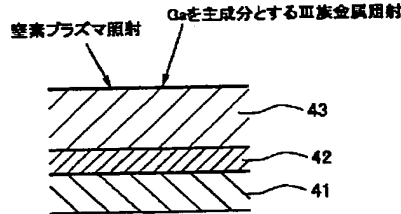
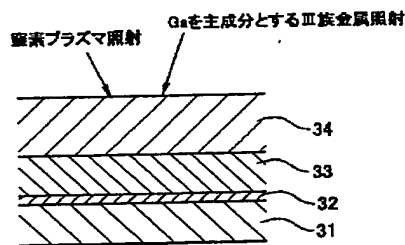
【図2】



【図3】

【図4】

【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 園田 早紀
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本真空
技術株式会社内
(72)発明者 奥村 元
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技
術院電子技術総合研究所内

(72)発明者 沈 旭強
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技
術院電子技術総合研究所内
(72)発明者 清水 三聡
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技
術院電子技術総合研究所内

F ターム(参考) 4G077 AA03 BE15 DA05 ED05 ED06
EF03
5F041 AA03 AA40 CA23 CA34 CA40
CA66
5F103 AA04 AA08 AA10 DD01 GG01
HH04 HH08 KK01 KK10 NN10
PP20

THIS PAGE BLANK (USPTO)